

中華科學叢書第三種

雷射與雷射

著者：M. Brotherton

譯者：李 天 培

臺灣中華書局印行

震 射 與 雷 射

著 者 M. Brotherton

(已出版)

譯 者 李 天 培

臺灣中華書局印行

中華民國五十九年三月三版

中華科學叢書第三種

雷射與雷射(全一冊)

定價：新臺幣拾貳元正

著者 M. Brotherton

譯者 李天培

中華科學叢書編輯委員(以姓氏筆劃爲序)

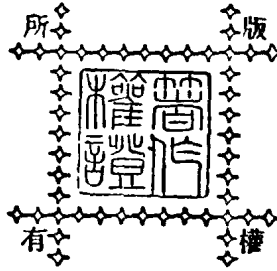
伍法岳	沈君山	沈慶春	李天培
林多標	吳京生	吳家璋	夏道師
浦大邦	許翼雲	趙曾珏	劉鑒
劉全生	鄭伯昆	錢致榕	瞿樹元

發行者 中華書局股份有限公司代表 劉克寰

印刷者 臺灣中華書局印刷廠

發行處 臺灣中華書局

臺北市重慶南路一段九十四號



中華科學叢書序

近代物理學，可溯原於十九世紀末年之氣體導電，X光，放射性等之研究。六十餘年來，基本物理中劃時代之發展，如一九〇〇年之量子論，一九〇五年之相對論，一九一三年之原子結構理論，一九二四——一九二八年間之量子力學，一九三幾年之原子核物理，一九三九年之原子核分裂。一九四六年介子之發現，及近十餘年來之基本粒子物理及物理學中之對稱定律等。常言「一日千里」，實不足以形容物理學發展之迅速。即從事一部門物理研究工作之學者，對其他部門之新發展亦時感脫節。故各國各部門科學皆有專書及期刊，由各門專家著述，對各部門工作之結果及發展之情形，作綜合性之報告、檢討及分析。此類著作，不僅便利同儕而已。

年來國人對科學及技術於建國之重要，了解漸深，一般青年，對科學、工程技術之興趣亦日趨濃厚。然限於環境，時或有望洋興嘆之感。增強在臺學校中科學教程，固為一基本工作，但以中文著述，介紹科學之新發展，為學校課外之補充讀物實為一極重要、極有意義之事。

7-1111/11

我國留美學者：伍法岳、沈君山、沈慶春、李天培、林多樑、吳京生、吳家瑋、吳錦鯨、夏道師、浦大邦、劉縻、劉全生、錢致榕、瞿樹元諸先生有鑑於此，曾決定從事科學叢書之編譯，各就其專長，選定寫作部門，目前除計劃於近期內陸續出版關於基本粒子，天文漫談，量子電子學，液態氦，高能加速器等五種外，並擬擴大科學部門，廣邀各方面學者專家從事著述。

叢書編輯委員會諸君，皆年青學者，學有專長，茲熱能心從事著述，爲我國科學教育及青年效勞；而中華書局亦以服務精神發行科學叢書。筆者年來對我國科學教育，未嘗忘懷，祇以力不從心，無善可述，茲聞此叢書行將陸續出版，謹向國人介紹，並致個人欽佩喜慰之感。

吳 大 猷

一九六六年十月

XXXXXXXXXX

譯者序

XXXXXXXXXX

自二次世界大戰以來，無線電工程突飛猛進，成為科學上的一支突起的異軍。促使其迅速發展的動力，則在於電子學的不斷發展及電子儀器的不斷改進的結果。所以戰後美國的電子工業如雨後春筍，即歐洲各國以及遠東的日本亦迎頭趕上。電子工業不僅為通訊、國防上的重要工業之一，即與現代化的生活亦息息相關。

我國科學始終落後於西方國家，其結果使得工業發展無法迎頭趕上。發展工業不僅靠有能力的科學家，還有賴於社會的興趣與支持，社會的科學教育，便成為工業化不可或缺的重要因素之一。故科學家們不僅專門於研究工作，而對社會一般人灌輸科學知識，提高社會科學水準，也是責無旁貸。

兩年以前，一些留學美國的同學感到國內關於淺近的科學書籍的極度缺乏，發起科學叢書之編輯，或述或譯以應此需要，希望能把國外的新知不斷地介紹到國內來以啓發國內青年對近代科學之興趣。負此編輯責任的林多樑君囑為撰寫一本關於量子電子學(Quantum Electronics)方面的書。我找了許多本英文著作都太專門，與寫書的原意不符，遲遲未着手進行。後來我到貝耳電話公司研究所工作，發現巴哲頓

(Brotherton)先生的這本新著，深入淺出，而其序文中所述寫此書之動機恰與我們不謀而合，因此決定着手翻譯。

美國生活向來忙碌，翻譯的工作只能在假期中進行，這樣斷斷續續幾乎有二年之久。這書未能早與讀者見面是件十分遺憾的事。

本書的內容已在原序中述及。筆者對翻譯一行，本是門外漢，好在這是一本科學書，故原則上只求達意，不究美雅，與原文文字的流暢相去甚遠。本書作為大眾科學讀物固然合適，充作大中學課外讀物尤其恰當，特為推介。

本書原文稍嫌過長，為節省篇幅起見，將其中原來的第三章、第十五章及第十六章與本文較無關係者省略未譯，讀者如有興趣可參考原書。許多專有名詞，有的已有中文譯名，有的新名詞尚未有中文譯名者，代為譯出，或有未恰當之處，尚請讀者指正。因感名詞翻譯應歸統一，方可有助於國內對科學有興趣之青年讀者，故將本書中專有名詞之中英對照附於書後以供參考。

余妻思北女士每每伴我譯書深夜不倦，假期中放棄外出機會囑早日脫稿，此書之成有以是賴，故誌之以為紀念。

李天培序於美國紐澤西州

民國五十六年(一九六七年)十月

※※※※※※

湯 序

※※※※※※

工具、發明與工藝對於人類文明來說一直是極重要的一環。由於工藝的不斷發展，有系統的知識即所謂的科學隨之而生。科學不僅在人類對他們自己，以及四週環境的看法上十分重要，而且使得人類文明有賴的複雜而精巧的工具，得以繼續不斷而加速發展。科學和工藝可以說像「麵包」一樣，已經成為人類最基本的物質食糧了。然而在同時，科學又是那麼極度的複雜與精細，因而一直有與社會脫節的危險；而另一方面，科學又必需受社會的薰陶，始能有以發揚。

古代的車輪或拱門，是可被任何人去接觸、去觀察、去製造的，而其功用却慢慢的由代代相傳而得以認識，漸漸發展出來。今日的發明則往往是根據極抽象的觀念，也許會包括那捉摸不住的原子現象，然而無數的人在這些發明以後，立刻會經驗到其效應或受其利益。

雷射(maser)及由其蛻變而出的雷射(laser)，就代表了這一類淵源於抽象原子及量子理論而有的發明。對量子論的專家們來說，其所涉之理論是如此優美，而其儀器又有如此偉大功能，它可以把放射能像電磁波的形式一樣的來控制，但對於一般並非日日討論量子學的人來說，便無此欣賞能力。在他們的眼光中這些理論看來似乎是不實際的，因之雷射本

身乃成爲一神秘不可知之物。本書就是專爲這些非專家們而寫的，用比較簡單而易於了解的步驟，來說明這一理論和其儀器是怎樣發展出來的，雷射是怎麼一樣東西，它是如何操作的，以及其整個結構之美與其功能之偉大處。

巴哲頓 (Brotherton) 在本書中之討論，含有深入淺出與引人入勝兩個優點；有逸事，有趣聞，有歷史背景，有相互比較。他指出每一主要步驟中之要點，而不越科學的真實範圍，不像一般人對科學觀念用過分簡化的敘述而令人難以置信。

他服務於貝耳電話公司研究所 (Bell Telephone Laboratories)，與該所對發展雷射有關的科學家們日日切磋，這是有利於他對本書的寫作的，但與其同樣重要的因素是，他熱心於對科學及其應用方面的正確而淺近的書寫工作。

這樣一類的書，在杜防社會與科學及科學家們脫節來說，是極度需要的，假如廣大的科學欲造福人羣，或人類欲求理智的自制其命運，這是一部不可不讀的書。

C. H. Townes

〔註〕 C. H. Townes 教授是 MASER 的第一個發明人，以此得諾貝爾獎金 (1965)。

※※※※※※

著者序

※※※※※※

此書是我在一九六〇年爲貝耳研究所作雷射宣傳的時候開始下筆的。我對此儀器感到十分有興趣，因此便把我所知的一部份寫了一篇文章，題爲「用原子放大」(Amplifying with Atoms)。此文在貝耳研究所紀錄月刊上(Bell Laboratories Record)發表之後，竟得到廣大讀者的嘉許，其中有科學教員、學科學的學生、作家等等，這使得它竟被加印了三萬份來分散給讀者們。

這一現象正證明了大眾對通俗科學著作的廣大熱誠和需要，此書也即爲響應此一需要而寫成的。在此書中我曾試探着去描畫雷射和雷射之共同基礎，用基本的方法來說明它們是如何產生、如何操作、如何可用來增益於科學、工藝和通訊，以及它們如何指出了自然界操作的內幕。

本書既然旨在傳達主要的物理觀念，所有的插圖就設計得儘可能的簡單，但不失其正確性。人物的名字，除了有關歷史上知名者外，一概從略。

本書之讀者對象是偏重於學文科方面的讀者，他們願意知道對於雷射和雷射的一些具體的說明，而不靠那些對他們無法理解的數學和方程式。

這本書是在公餘之暇所寫成的，或晚間，或假日，或週

末，或在家中，或在公園內，或在上下班來回的火車上，所以它完全是我個人出的課題。其中的觀點，全是我自己的，而並非代表貝耳研究所的看法。當然，如果沒有貝耳公司同仁的批評和指導，以及他們的鼓勵，這書是不會寫成的。特別要感謝以下諸君的賜助：D. F. Nelson, A. N. Holden, J. N. Shive, J. E. Geusic, E. F. Vaage, 和 D. C. Hogg；以及麻省理工大學的 C. H. Townes 教授，給我關於搜集資料的指導。我還要感謝科學美國人 (Scientific American) 雜誌上的文章。我也參考了哈佛大學所出的一書「雷射與雷射」。對於為何雷射未早被發明這一點，是採自麻省理工大學 Michael Feld 君的一篇論文。最後我要感謝貝耳研究所准許我用其設備以及准許引用大多數的插圖。

M. Brothertor

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

雷射與雷射目錄

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

吳序	
譯者序	
湯序	
著者序	
引言	1
第一章 電、磁和電磁波	6
第二章 電子與電子管	13
第三章 原子和電子的世界	22
第四章 光子——能量包	28
第五章 原子能量的階梯	31
第六章 第一個雷射	38
第七章 行波紅寶石雷射	45
第八章 紅寶石雷射及氦-氖雷射	54
第九章 半導體接合雷射	64
第十章 波與波動	70
第十一章 電磁波發射機	74
第十二章 雷射的功用及其應用	78
第十三章 雷射的功用及其應用	83
索引	89
封面說明	紅寶石雷射所放出之光

XXXXXXXXXX

引言

XXXXXXXXXX

在一九五四年的某一日，哥倫比亞大學的教授和他的學生們成功地，不用一般人用的電子管，產生了無線電波。這一成就震驚了整個科學界。他們所產生的所謂微波，是用一個小小的盒子，裝着少量的氨氣（ammomia）而已。這種氨氣與市面上售賣作清潔用的並沒絲毫不同。自從早年赫爾茲（Hertz）的無線電實驗以來。無線電波的產生都是利用吸取一連串的電子中的能量而來。然而在他們所產生的微波，却是刺激能量而使放射。這能量是原先儲藏在氨氣的分子中的。哥倫比亞大學的科學家們很適當的把這個新的儀器命名為「微波激發放射放大器」（microwave amplification by stimulated emission of radiation），簡稱震射（MASER）。

做為一種通訊工具而言，微波激發放射放大器或許無法與一般簡單的微波放大器競爭。然而其重點在於微波激發放射所顯示的新的放大原理。這使利用原子及分子來儲藏能量繼而使之放射的可能性受到科學界十分的重視，因而在許多大學的研究室中以及工業界，都開始探討新的方法來應用這一原理於短波之產生。

直到一九五九年，操作頻率在電磁波光譜上才向上發展數千百倍而發明了光波激發放射放大器。這種放大器用於放

大光波，其波長僅等於一吋的一小部份。光波激發放射放大器之重要部份爲一活動性的介質，可爲晶體，也可爲氣體或半導體。此介質的兩端爲兩面平行的鏡面，它使光線可在介質內來回反射。介質中的原子在某種條件之下，當光線射到上面就放出更多的光來。當光線在介質中來回反射時，此介質從其原子中放出更多的能量來，所以原來的光的能量因而放大許多倍。如果其中一面鏡子是半透明體，那麼放大後之光便會從鏡中透射出來成爲一道極強的光。

光波激發放射放大器的成就，在歷史上說是第一個可以放大光波的儀器。當我們想到我們已經有了極精密的無線電波放大器，而光波與無線電波均屬於電磁波，不過僅僅頻率及波長不同而已，何以光波激發放射放大器可以用於光波，而別的無線電波放大器便不能用於光波呢？

其中的一個原因是這樣的：光波激發放射放大器可以用於放大光波，而不必使光波變爲一串電子的振盪，此種電子振盪是從前的放大器中必要的條件。三極真空管的發明使無線電走上燦爛之途，然而奇怪的是三極管無法用於某些電磁波，如真空中的振盪是。在無線電接收器中，真正能接收無線電波的不是三極管，而是天線（antenna）。天線把空間的振盪，變爲一連串的電子振盪，電子管然後把電子的振盪放大。由於電子管原理中的特性，它無法用於高週波。因此在沒有別種放大器以前，通訊科學界極爲渴望高週波的應用。

直到一九三八年，一種新的電子管即所謂的克萊斯蘭（Klystron）問世。到一九四九年行波管（traveling wave tube）亦問世。行波管是利用電磁波與一連串電子間之相互

作用而成。克萊斯闢與行波管都省去了變換電子振盪的一步驟，因此可以用於較高的頻率，亦即較短波長的電磁波。

雖然克萊斯闢及行波管的原理使短波的應用技術大為進步，然而它們仍舊無法用之於極高短波或光波，因為無法使電子管的實際部份做得再小，或使電子的速度跑得更快。光波激發放射放大器直接利用原子中儲藏的能量，在原理上是一個大躍進，它打開了利用光波的一條大道。概略的說來，它的應用可以分為三類：

一、對於純粹科學(pure science)而言，光波激發放射放大器供給一個新的有用的觀點，由此可以研究物體的各種現象，同時光的本身也供給光譜學家研究的直接對象，因為光可以用光波激發放射器來放大。極強的、可以集中的而又是單頻率的光，可以用來引發化學反應，以探討分子中的結構。

二、在製造及組合機械零件時，經光波激發放大器放大後之光，不僅強烈，而且集中，可以用於切斷、穿孔或電焊。

三、通訊用途中，光波激發放射放大器之應用有二途：其一為雷達，用於探測極小的物體，它可以探測比微波可探測的更細微的部份；其二為電話、電報、電視等之傳送，光波激發放大器之光線在理論上說是通訊上的一條寬敞大道。

如何使基本物理原理能應用於微波及光波激發放射放大器呢？激發放射原理的發明並非是偶然的。在這一方面，它不像電話那樣是亞歷山大·貝耳在探求一個新的電報方法時偶然發明的。也不像湯姆士·愛迪生偶然發現赤紅的電線會放出電子。也不是像X光那樣，當雷琴發現他放在實驗室中工作桌上的一張底片很神秘的變得很黑。相反的，每一個早

期的微波及光波激發放射放大器，都是先由理論上推測出來的。它們都證明了基本物理理論的驚人準確性，並說明了如何使一個有企業和幻想頭腦的人，可以利用科學的原理而在實際上有所成就。

同時，激發放射原理的發明，也說明了電子科學及技術上的一條新路線。我們將會更接近於物體內部原子構造的探討，從而發明或改進新的儀器。十九世紀電子世界初創之時，發明家並不要明瞭物體的內部結構，例如莫斯的發明電報，貝耳的發明電話，愛迪生的發明電燈，都不必要知道何謂電流。相反地，電晶體的發明是由於發明者已熟悉電子在半導體晶體中的一切特性。同樣地，核子物理中如果沒有理論的依據，是無法理解何以核子分裂時會具有如此巨大的能量。總之，在古代的偶然發明中，先發現新的現象，然後來解釋何以如此。激發放射原理代表了新的思想方法，那是先預測會產生什麼結果，然後走進實驗室去證明它。

或則我們會覺得驚奇，激發放射的物理現象在它被發明以前，早為物理學家們所已知。例如愛因斯坦在一九一七年已經預測原子可被激動而放射，而且光譜學家們也早知原子可以儲藏能量或激發放射微波能量。那麼何以第一個微波激發放射放大器沒有在以前，而直到一九五四年才問世呢？

沒有人真正知道為什麼科學的進展一定要到一個特別的時分和特別的地方，但是我們知道那是必須要等到某一個人，能把所有的重要因素融會貫通之後，才向前邁進一步。無論什麼頻率，用何種物質，或外形如何，激發放射的原理有三個基本因素，哥倫比亞大學的科學家們首先把這三個基本因素

融在一起，因此發明了歷史上第一個微波激發放射放大器。
以下讓我們來研討這三個基本因素是怎樣被發現而被應用於
科學界的。